

GROUP III NITRIDE SEMICONDUCTOR LIGHT EMITTING ELEMENT

Patent Number: JP10012922
Publication date: 1998-01-16
Inventor(s): ASAMI SHINYA; KOIKE MASAYOSHI; KOIDE NORIKATSU; YAMAZAKI SHIRO; UMEZAKI JUNICHI
Applicant(s):: TOYODA GOSEI CO LTD
Requested Patent: ☐ JP10012922
Application Number: JP19960180165 19960619
Priority Number(s):
IPC Classification: H01L33/00 ; H01S3/18
EC Classification:
Equivalents:

Abstract

PROBLEM TO BE SOLVED: To enhance the emission efficiency of a light emitting element employing a group III nitride semiconductor.

SOLUTION: An emission layer 5 has a multiple quantum well structure comprising six barrier layers 51 of Al_{0.05}Ga_{0.95}N having thickness of about 50Å and five well layers 52 of In_{0.2}Ga_{0.8}N having thickness of about 50Å laminated alternately. The emission layer 5 has total thickness of about 0.055μm. The well layer 52 is added with zinc and silicon at concentration of $5 \times 10^{18} \text{ /cm}^3$. Since the emission layer 5 comprises a strained superlattice, the emission intensity is enhanced.

Data supplied from the esp@cenet database - I2

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-12922

(43) 公開日 平成10年(1998) 1月16日

(51) IntCl. ⁸	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 L 33/00			H 0 1 L 33/00	C
H 0 1 S 3/18			H 0 1 S 3/18	

審査請求 未請求 請求項の数9 F D (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願平8-180165

(22) 出願日 平成8年(1996) 6月19日

(71) 出願人 000241463

豊田合成株式会社

愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑1
番地

(72) 発明者 浅見 慎也

愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑1
番地 豊田合成株式会社内

(72) 発明者 小池 正好

愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑1
番地 豊田合成株式会社内

(74) 代理人 弁理士 藤谷 修

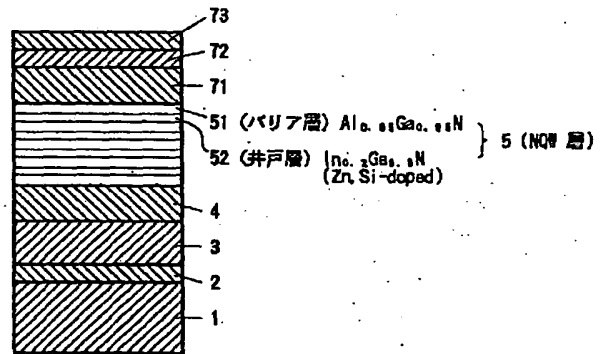
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 3族窒化物半導体発光素子

(57) 【要約】

【課題】 3族窒化物化合物半導体を用いた発光素子の発光効率の向上。

【解決手段】 発光層5は、膜厚約50Åの $\text{Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ から成る6層のバリア層51と膜厚約50Åの $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ から成る5層の井戸層52とが交互に積層された多重量子井戸構造で、全膜厚約0.055 μmである。又、井戸層52には、亜鉛とシリコンが、それぞれ、 $5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ の濃度に添加されている。発光層を歪超格子で構成したため発光強度が増加した。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】発光層に 3 族窒化物半導体を用いた発光素子において、

前記発光層を 3 族窒化物半導体の歪超格子から成る単一又は多重の量子井戸構造としたことを特徴とする 3 族窒化物半導体発光素子。

【請求項 2】前記発光層は $Al_{x2}Ga_{1-x2}N$ ($0 < x2 \leq 1$) から成るバリア層と $In_{x1}Ga_{1-x1}N$ ($0 < x1 \leq 1$) から成る井戸層とを積層させた単一又は多重の量子井戸の超格子で構成されていることを特徴とする請求項 1 に記載の 3 族窒化物半導体発光素子。

【請求項 3】前記発光層にはアクセプタ不純物又はドナー不純物、又は、その両方が添加されていることを特徴とする請求項 1 又は請求項 2 に記載の 3 族窒化物半導体発光素子。

【請求項 4】前記発光層の各井戸層にのみ前記アクセプタ不純物と前記ドナー不純物とが共に添加されていることを特徴とする請求項 3 に記載の 3 族窒化物半導体発光素子。

【請求項 5】前記発光層の隣接する井戸層に、前記アクセプタ不純物と前記ドナー不純物とが交互に添加されていることを特徴とする請求項 3 に記載の 3 族窒化物半導体発光素子。

【請求項 6】前記発光層の前記井戸層には前記アクセプタ不純物が、前記発光層の前記バリア層には前記ドナー不純物が、それぞれ、添加されているか、又は、前記井戸層には前記ドナー不純物が、前記バリア層には前記アクセプタ不純物が、それぞれ、添加されていることを特徴とする請求項 3 に記載の 3 族窒化物半導体発光素子。

【請求項 5】前記アクセプタ不純物は亜鉛であり、前記ドナー不純物はシリコンであることを特徴とする請求項 3 乃至請求項 6 のいずれかの請求項に記載の 3 族窒化物半導体発光素子。

【請求項 7】前記発光層は、アクセプタ不純物が添加された p 伝導型の $Al_{x3}Ga_{1-x3}N$ ($X2 \leq X3$) から成る p 層と、ドナー不純物が添加された n 伝導型の $Al_{x4}Ga_{1-x4}N$ ($X2 \leq X4$) から成る n 層とで挟まれていることを特徴とする請求項 2 に記載の 3 族窒化物半導体発光素子。

【請求項 8】前記 p 層に添加されている前記アクセプタ不純物はマグネシウムであり、前記 n 層に添加されている前記ドナー不純物はシリコンであることを特徴とする請求項 7 に記載の 3 族窒化物半導体発光素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は青色、緑色発光の効率を向上させた 3 族窒化物半導体を用いた発光素子に関する。

【0002】

【従来技術】従来、発光層に 3 族窒化物半導体から成る量子井戸構造の青色発光素子が提案されている（特開平

6-268257 号公報）。この素子では、発光層を $In_{0.2}Ga_{0.8}N$ の井戸層と $In_{0.04}Ga_{0.96}N$ のバリア層とから成る多重量子井戸構造としている。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】上記構造の発光素子は井戸層とバリア層とを成るべく格子整合を図り、且つ、成長の基礎となる n 形 GaN 層に対する格子不整合を緩和する目的で多重量子井戸構造を採用するものである。しかし、上記の発光素子の発光強度は未だ十分ではなく、GaN 系の化合物半導体発光素子において、さらに、発光強度を増加させることが要請されている。

【0004】本発明は、上記課題を解決するために成されたものであり、その目的は 3 族窒化物半導体発光素子の発光強度を増加させることである。

【0005】

【課題を解決するための手段】請求項 1 に記載の発明は、発光層に 3 族窒化物半導体を用いた発光素子において、発光層を 3 族窒化物半導体の歪超格子から成る単一又は多重の量子井戸構造としたことを特徴とする。

【0006】又、請求項 2 の発明は発光層を $Al_{x2}Ga_{1-x2}N$ ($0 < x2 \leq 1$) から成るバリア層と $In_{x1}Ga_{1-x1}N$ ($0 < x1 \leq 1$) から成る井戸層とを積層させた単一又は多重の量子井戸の超格子で構成したものであり、請求項 3 の発明はその発光層にアクセプタ不純物又はドナー不純物、又は、その両方を添加したものであり、請求項 4 の発明は発光層の各井戸層にのみアクセプタ不純物とドナー不純物とを共に添加したものである。さらに、請求項 5 の発明は発光層の隣接する井戸層にアクセプタ不純物とドナー不純物とを交互に添加し、井戸層にアクセプタ不純物、バリア層にドナー不純物、又は、井戸層にドナー不純物、バリア層にアクセプタ不純物、それぞれ、添加したものであり、請求項 5 の発明はアクセプタ不純物を亜鉛、ドナー不純物をシリコンとしたことを特徴とし、請求項 7 の発明は発光層をアクセプタ不純物が添加された p 伝導型の $Al_{x3}Ga_{1-x3}N$ ($X2 \leq X3$) から成る p 層と、ドナー不純物が添加された n 伝導型の $Al_{x4}Ga_{1-x4}N$ ($X2 \leq X4$) から成る n 層とで挟んだことを特徴とする。さらに、請求項 8 の発明は p 層に添加されているアクセプタ不純物をマグネシウム、n 層に添加されているドナー不純物をシリコンとしたことである。

【0007】尚、井戸層とバリア層との間の格子不整合の程度は、0.4～4.8% が望ましい。0.4% 以下であると歪超格子の性質が利用できないし、4.8% 以上となると転位が多く発生し結晶性が低下するので望ましくない。又、井戸層とバリア層の厚さは、1～20nm が望ましい。1nm 以下となると成膜が困難となり、20nm 以上となるとボンドの歪効果が低下し歪超格子の特性を利用することができなくなるので望ましくない。

【0008】井戸層を $In_{x1}Ga_{1-x1}N$ ($0 < x1 \leq 1$) で構成し、バリア層を $Al_{x2}Ga_{1-x2}N$ ($0 < x2 \leq 1$) で構成した場合

には、望ましいInの組成比 x_1 は、0.03~0.5であり、望ましいAlの組成比 x_2 は、0.03~0.3である。それぞれ、上記の下限値以下であると、歪みが入らないため歪超格子の効果が発生しないため効果的でなく、上記の上限値以上となると、ミスフィット転位が多く発生するので望ましくない。又、井戸層とバリア層の厚さは、上述した理由により上述した範囲が望ましい。

【0009】又、発光層に不純物を添加する場合には、添加するアクセプタ不純物とドナー不純物の濃度は $1 \times 10^{17}/\text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ の範囲が望ましい。 $1 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ 以下であると、発光中心不足により発光効率が低下し、 $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ 以上となると、結晶性が悪くなり、又、オージェ効果が発生するので望ましくない。

【0010】

【発明の作用及び効果】本発明は、発光層に3族窒化物半導体を用いた発光素子において、発光層を3族窒化物半導体の歪超格子から成る単一又は多重の量子井戸構造としたために、ボンドの歪効果により転位のない良質な結晶を得ることができ、発光に寄与する電子とホール濃度を増加させることができた結果、発光強度を向上させることができた。又、発光層を、アクセプタ不純物が添加されたp伝導型の $\text{Al}_{x_3}\text{Ga}_{1-x_3}\text{N}$ ($x_2 \leq x_3$) から成るp層と、ドナー不純物が添加されたn伝導型の $\text{Al}_{x_4}\text{Ga}_{1-x_4}\text{N}$ ($x_2 \leq x_4$) から成るn層とで挟むダブルヘテロ接合構造とすることで、発光効率を向上させることができた。

【0011】

【発明の実施の形態】以下、本発明を具体的な実施例に基づいて説明する。なお本発明は下記実施例に限定されるものではない。

第1実施例

図1は本願実施例の発光素子100の全体図を示す。発光素子100は、サファイア基板1を有しており、そのサファイア基板1上に $0.05 \mu\text{m}$ のAlNバッファ層2が形成されている。

【0012】そのバッファ層2の上には、順に、膜厚約 $4.0 \mu\text{m}$ 、電子濃度 $2 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ のシリコン(Si)ドープGaNから成る高キャリア濃度 n^+ 層3、膜厚約 $0.5 \mu\text{m}$ の電子濃度 $5 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ のシリコン(Si)ドープのGaNから成るn層4、 $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ の井戸層と $\text{Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ のバリア層との多重量子井戸構造の歪超格子から成る総厚さ $0.055 \mu\text{m}$ の発光層5、膜厚約 10nm 、ホール濃度 $2 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ 、マグネシウム(Mg)濃度 $5 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ の $\text{Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ から成るp伝導形のクラッド層71、膜厚約 35nm 、ホール濃度 $3 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ 、マグネシウム(Mg)濃度 $5 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ のGaNから成るp伝導形の第1コンタクト層72、膜厚約 5nm 、ホール濃度 $6 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ 、マグネシウム(Mg)濃度 $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ のGaNから成るp $^+$ 伝導形の第2コンタクト層73が形成されてい

る。そして、第2コンタクト層73の上面全体にNi/Auの2重層からなる透明電極9が形成されその透明電極9の隅の部分にNi/Auの2重層からなるボンディングのためのパッド10が形成されている。又、 n^+ 層3上にはAlから成る電極8が形成されている。

【0013】発光層5の詳細な構成は、図2に示すように、膜厚約 50\AA の $\text{Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ から成る6層のバリア層51と膜厚約 50\AA の $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ から成る5層の井戸層52とが交互に積層された多重量子井戸構造で、全膜厚約 $0.055 \mu\text{m}$ である。又、井戸層52には、亜鉛とシリコンが、それぞれ、 $5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ の濃度に添加されている。

【0014】次に、この構造の発光ダイオード100の製造方法について説明する。上記発光ダイオード100は、有機金属化合物気相成長法(以下「MOVPE」と記す)による気相成長により製造された。用いられたガスは、 NH_3 とキャリアガス H_2 又は N_2 とトリメチルガリウム($\text{Ga}(\text{CH}_3)_3$) (以下「TMG」と記す)とトリメチルアルミニウム($\text{Al}(\text{CH}_3)_3$) (以下「TMA」と記す)とトリメチルインジウム($\text{In}(\text{CH}_3)_3$) (以下「TMI」と記す)とシラン(SiH_4)とジエチル亜鉛($\text{Zn}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$) (以下「DEZ」と記す)とシクロペンタジエニルマグネシウム($\text{Mg}(\text{C}_5\text{H}_5)_2$) (以下「 CP_2Mg 」と記す)である。

【0015】まず、有機洗浄及び熱処理により洗浄したa面を主面とし、単結晶のサファイア基板1をMOVPE装置の反応室に載置されたセセプタに装着する。次に、常圧で H_2 を流速2 liter/分で約30分間反応室に流しながら温度 1100°C でサファイア基板1をペーキングした。

【0016】次に、温度を 400°C まで低下させて、 H_2 を20 liter/分、 NH_3 を10 liter/分、TMAを 1.8×10^{-6} モル/分で約90秒間供給してAlNのバッファ層2を約 $0.05 \mu\text{m}$ の厚さに形成した。次に、サファイア基板1の温度を 1150°C に保持し、 H_2 を20 liter/分、 NH_3 を10 liter/分、TMGを 1.7×10^{-6} モル/分、 H_2 ガスにより 0.86ppm に希釈されたシランを 20×10^{-8} モル/分で40分導入し、膜厚約 $4.0 \mu\text{m}$ 、電子濃度 $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ 、シリコン濃度 $4 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ のシリコン(Si)ドープGaNから成る高キャリア濃度 n^+ 層3を形成した。

【0017】上記の高キャリア濃度 n^+ 層3を形成した後、続いて温度を 1100°C に保持し、 H_2 を20 liter/分、 NH_3 を10 liter/分、TMGを 1.12×10^{-6} モル/分、 H_2 ガスにより 0.86ppm に希釈されたシランを 10×10^{-9} モル/分で30分導入し、膜厚約 $0.5 \mu\text{m}$ 、電子濃度 $5 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ 、シリコン濃度 $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ のシリコン(Si)ドープGaNから成るn層4を形成した。

【0018】その後、サファイア基板1の温度を 1100°C に保持し、 N_2 又は H_2 を20 liter/分、 NH_3 を10 liter/分、TMGを 0.5×10^{-6} モル/分、TMAを 0.8×10^{-6} モル/分で0.5分間導入して $\text{Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ から成る厚さ 50\AA のバリア層51を形成した。続いて、温度を 800°C に

保持し、 N_2 又は H_2 を20 liter/分、 NH_3 を10 liter/分、TMGを 0.5×10^{-4} モル/分、TMIを 1.6×10^{-4} モル/分、 H_2 ガスにより0.86ppmに希釈されたシランを 0.15×10^{-8} mol/分で、DEZを 0.2×10^{-8} モル/分で、1.5分間供給して、シリコンと亜鉛が、それぞれ、 $5 \times 10^{19}/cm^3$ にドーブした $In_{0.2}Ga_{0.8}N$ から成る厚さ50Åの井戸層52を形成した。このような手順の繰り返しにより、図2に示すように、バリア層51と井戸層52とを交互に5層だけ積層した多重量子井戸構造で、全体の厚さ0.055 μm の発光層5を形成した。

【0019】続いて、温度を1100°Cに保持し、 N_2 又は H_2 を20 liter/分、 NH_3 を10 liter/分、TMGを 0.5×10^{-4} モル/分、TMAを 0.47×10^{-6} モル/分、及び、 CP_2Mg を 2×10^{-8} モル/分で2分間導入し、膜厚約10nmのマグネシウム(Mg)ドーブの $Al_{0.05}Ga_{0.95}N$ から成るクラッド層71を形成した。クラッド層71のマグネシウム濃度は $5 \times 10^{19}/cm^3$ である。この状態では、クラッド層71は、まだ、抵抗率 $10^9 \Omega cm$ 以上の絶縁体である。

【0020】次に、温度を1100°Cに保持し、 N_2 又は H_2 を20 liter/分、 NH_3 を10 liter/分、TMGを 0.5×10^{-4} モル/分、及び、 CP_2Mg を 2×10^{-8} モル/分で4分間導入し、膜厚約35nmのマグネシウム(Mg)ドーブのGaNから成る第1コンタクト層72を形成した。第1コンタクト層72のマグネシウム濃度は $5 \times 10^{19}/cm^3$ である。この状態では、第1コンタクト層72は、まだ、抵抗率 $10^9 \Omega cm$ 以上の絶縁体である。

【0021】次に、温度を1100°Cに保持し、 N_2 又は H_2 を20 liter/分、 NH_3 を10 liter/分、TMGを 0.5×10^{-4} モル/分、及び、 CP_2Mg を 4×10^{-8} モル/分で1分間導入し、膜厚約5nmのマグネシウム(Mg)ドーブのGaNから成る p^+ の第2コンタクト層73を形成した。第2コンタクト層73のマグネシウム濃度は $1 \times 10^{20}/cm^3$ である。この状態では、第2コンタクト層73は、まだ、抵抗率 $10^9 \Omega cm$ 以上の絶縁体である。

【0022】次に、電子線照射装置を用いて、第2コンタクト層73、第1コンタクト層72及びクラッド層71に様に電子線を照射した。電子線の照射条件は、加速電圧約10KV、資料電流1 μA 、ビームの移動速度0.2m/sec、ビーム径60 $\mu m \phi$ 、真空度 5.0×10^{-6} Torrである。この電子線の照射により、第2コンタクト層73、第1コンタクト層72及びクラッド層71は、それぞれ、ホール濃度 $6 \times 10^{17}/cm^3$ 、 $3 \times 10^{17}/cm^3$ 、 $2 \times 10^{17}/cm^3$ 、抵抗率2 Ωcm 、1 Ωcm 、0.7 Ωcm の p 伝導性半導体となった。このようにして多層構造のウエハが得られた。

【0023】次に、図3に示すように、第2コンタクト層73の上に、スパッタリングにより SiO_2 層11を2000Åの厚さに形成し、その SiO_2 層11上にフォトレジスト12を塗布した。そして、フォトリソグラフにより、図3に示すように、第2コンタクト層73上において、高キャリア濃度 n^+ 層3に対する電極形成部位A'のフォ

トレジスト12を除去した。次に、図4に示すように、フォトレジスト12によって覆われていない SiO_2 層11をフッ化水素酸系エッチング液で除去した。

【0024】次に、フォトレジスト12及び SiO_2 層11によって覆われていない部位の第2コンタクト層73、第1コンタクト層72、クラッド層71、発光層5、 n 層4を、真空度0.04Torr、高周波電力0.44W/cm²、 BCl_3 ガスを10 ml/分の割合で供給しドライエッチングした後、Arでドライエッチングした。この工程で、図5に示すように、高キャリア濃度 n^+ 層3に対する電極の形成のための孔Aが形成された。その後、フォトレジスト12及び SiO_2 層11を除去した。

【0025】次に、様にNi/Auの2層を蒸着し、フォトレジストの塗布、フォトリソグラフィ工程、エッチング工程を経て、第2コンタクト層73の上に透明電極9を形成した。そして、その透明電極9の一部にNi/Auの2層を蒸着してパッド10を形成した。一方、 n^+ 層3に対しては、アルミニウムを蒸着して電極8を形成した。その後、上記のごとく処理されたウエハは、各素子毎に切断され、図1に示す構造の発光ダイオードを得た。この発光素子は駆動電流20mAで発光ピーク波長470nm、発光強度2mWであった。従来構造のLEDに比べて発光強度は2倍になった。

【0026】上記の実施例では、発光層5に $In_{0.2}Ga_{0.8}N$ の井戸層52と $Al_{0.05}Ga_{0.95}N$ のバリア層51との多重量子井戸構造の歪超格子を用いたが、格子定数の不一致の範囲が0.4~4.8%で、各層の厚さの範囲が1~20nmであれば、一般式 $Al_{Ga_1}In_{1-x_1-y_1}N$ ($0 \leq x_1 \leq 1, 0 \leq y_1 \leq 1, 0 \leq x_1+y_1 < 1$)の井戸層と一般式 $Al_{x_2}Ga_{y_2}In_{1-x_2-y_2}N$ ($0 \leq x_2 \leq 1, 0 \leq y_2 \leq 1, 0 \leq x_2+y_2 \leq 1$)のバリア層とを用いても良い。又、量子井戸構造は多重周期でも1周期でも良い。又、井戸層52にシリコンと亜鉛とをドーブしたがノンドープであっても良い。又、 n 層4はバリア層51よりもバンドギャップの広い $Al_{x_4}Ga_{1-x_4}N$ を用いても良い。例えば、 n 層4を、シリコン濃度 $2 \times 10^{18}/cm^3$ 、電子濃度 $1 \times 10^{18}/cm^3$ の $Al_{0.05}Ga_{0.95}N$ としても良い。

【0027】第2実施例

上記第1実施例では、各井戸層52に亜鉛とシリコンとを同時に添加している。第2実施例の発光ダイオード100の発光層5は、図6に示すように、複数の井戸層520に、順に交互に、シリコンと亜鉛を添加したものである。この構造において、アクセプタ準位とドナー準位による対発光が可能となり、青色の発光効率が向上する。このようにして得られた発光素子は、駆動電流20mAで、発光ピーク波長470nm、発光強度3mWであった。この発光効率は45%であり、従来の構成のものに比べて3倍に向上した。

【0028】第3実施例

第3実施例の発光ダイオード200は、図7に示すよう

10

20

30

40

50

に、全ての井戸層521に亜鉛を添加し、全てのバリア層511にシリコンを添加したものである。この構造において、アクセプタ準位とドナー準位による対発光が可能となり、紫外線の発光効率が向上する。尚、逆に、全ての井戸層521にシリコンを添加し、全てのバリア層511に亜鉛を添加するようにしても良い。このようにして得られた発光素子は、駆動電流20mAで、発光ピーク波長470nm、発光強度3mWであった。この発光効率は4.5%であり、従来の構成のものに比べて3倍に向上した。

【0029】第4実施例

上記の全ての実施例において、バリア層51、510、511にはマグネシウムが添加されていないが、マグネシウムを添加した後の、熱処理、又は、電子線照射処理によりp型化しても良い。

【0030】第5実施例

発光層5を図8に示すように構成しても良い。即ち、本実施例では、発光層5は、不純物無添加の $\text{Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ から成るバリア層512と不純物無添加の $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ から成る井戸層522の5周期で形成されている。そして、全てのバリア層512の厚さは35Åで一定であるが、井戸層522の厚さは、クラッド層71の側に存在する方から順に、35Å、45Å、55Å、45Å、35Åとなっている。このように井戸層の厚さを変化させると量子効果によりバンド幅が変化し、各井戸層からはピーク波長が異なる発光が得られることになり、全体として、発光のスペクトルを広くすることできる。特別な場合には、上記のように井戸層の厚さを多種類に多数変化させることで白色光を得ることができる。

【0031】上記の全実施例において、コンタクト層は2層構造としたが1層構造でも良い。又、上記全実施例において、クラッド層71、第1コンタクト層72、第2コンタクト層73の総合厚さは、50nmとし、これらの成長温度を1100℃とし、総合成長時間を7分としたが、総合厚さは10nm～150nmの範囲とすることが可能である。この場合には、これらの層の総合成長時間は1～20分である。10nmよりも薄いとクラッド層71のキャリアの閉じ込め効果が低下すると共に第1コンタクト層72、第2コンタクト層73が薄くなり、オーミック性が悪化し、接触抵抗が増大するので望ましくない。又、150nmよりも厚いと、成長に時間がかかり、発光層5がその成長温度以上の温度にさらされる時間が長くなり、結晶性の改善効果が低下するので望ましくない。

【0032】又、クラッド層71の厚さは2nm～70nm、第1コンタクト層72の厚さは2nm～100nm、第2コンタクト層73の厚さは2nm～50nmが望ましい。クラッド層71の厚さが2nmよりも薄いと、キャリアの閉じ込め効果が低下するため発光効率が低下するので望ましくない。第1コンタクト層72の厚さが2nmよりも薄いと、注入されるホール数が減少するので発光効率が低下する

ので望ましくない。第2コンタクト層73が2nmよりも薄いと、オーミック性が悪くなり接触抵抗が増大するので望ましくない。又、各層が上記の上限厚さを越えると、発光層がその成長温度以上に曝される時間が長くなり発光層の結晶性の改善効果が低下するので望ましくない。

【0033】又、クラッド層71のホール濃度は $1 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ が望ましい。ホール濃度が $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以上となると、不純物濃度が高くなり結晶性が低下し発光効率が低下するので望ましくなく、 $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以下となると、直列抵抗が高くなり過ぎるので望ましくない。

【0034】第1コンタクト層72は、マグネシウム(Mg)が $1 \times 10^{19} \sim 5 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ の範囲で第2コンタクト層73のマグネシウム(Mg)濃度より低濃度に添加されp伝導型を示す層とすることで、その層のホール濃度を $3 \times 10^{17} \sim 8 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ と最大値を含む領域とすることができる。これにより、発光効率を低下させることがない。

【0035】第2コンタクト層73は、マグネシウム(Mg)濃度を $1 \times 10^{20} \sim 1 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ とする場合が望ましい。マグネシウム(Mg)が $1 \times 10^{20} \sim 1 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ に添加されたp伝導型を示す層は、金属電極に対してオーミック性を向上させることができるが、ホール濃度が $1 \times 10^{17} \sim 8 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ とやや低下する。(駆動電圧5V以下にできる範囲を含む、オーミック性の改善からMg濃度が上記の範囲が良い。)

【0036】又、発光層5のシリコン濃度及び亜鉛濃度は、それぞれ、 $1 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ が望ましい。 $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以下であると、発光中心不足により発光効率が低下し、 $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ 以上となると、結晶性が悪くなり、又、オージェ効果が発生するので望ましくない。さらに好ましくは $1 \times 10^{18} \sim 1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ の範囲が良い。又、シリコン(Si)の濃度は、亜鉛(Zn)に比べて、10倍～1/10が好ましく、さらに好ましくは1～1/10の間程度か、少ないほうがより望ましい。

【0037】アクセプタ不純物は、2族元素のベリリウム(Be)、マグネシウム(Mg)、亜鉛(Zn)、カドミウム(Cd)、水銀(Hg)を用いても良い。2族元素をアクセプタ不純物とした場合には、ドナー不純物として、4族元素である炭素(C)、シリコン(Si)、ゲルマニウム(Ge)、錫(Sn)、鉛(Pb)を用いることができる。又、4族元素をアクセプタ不純物とした場合には、ドナー不純物として、6族元素のイオウ(S)、セレン(Se)、テルル(Te)を用いることもできる。p型化は、電子線照射の他、熱アニーリング、 N_2 プラズマガス中での熱処理、レーザ照射により行うことができる。

【0038】上記の実施例は発光素子として、全て発光ダイオードを示したが、レーザダイオードでも良い。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の具体的な第1実施例に係る発光ダイオードの構成を示した構成図。

【図2】同実施例の発光ダイオードの製造工程を示した断面図。

【図3】同実施例の発光ダイオードの製造工程を示した断面図。

【図4】同実施例の発光ダイオードの製造工程を示した断面図。

【図5】同実施例の発光ダイオードの製造工程を示した断面図。

【図6】第2実施例に係る発光ダイオードの構成を示した構成図。

【図7】第3実施例に係る発光ダイオードの構成を示した構成図。

【図8】第5実施例に係る発光ダイオードの発光層の構成を示した構成図。

【符号の説明】

10, 100, 200…発光ダイオード

1…サファイア基板

2…バッファ層

3…高キャリア濃度 n^+ 層

4… n 層

5…発光層

51, 510, 511, 512…バリア層

52, 520, 521, 522…井戸層

10 71…クラッド層

72…第1コンタクト層

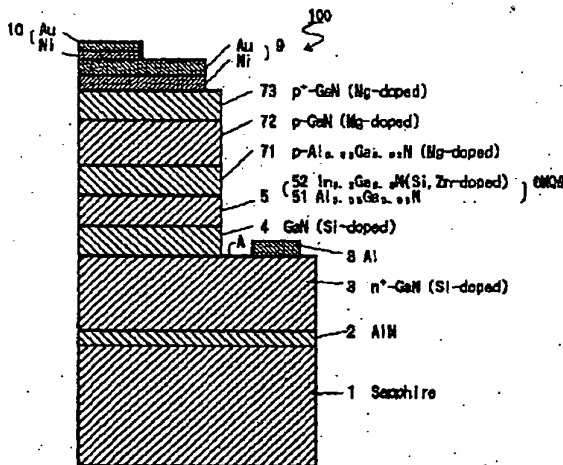
73…第2コンタクト層

8…電極

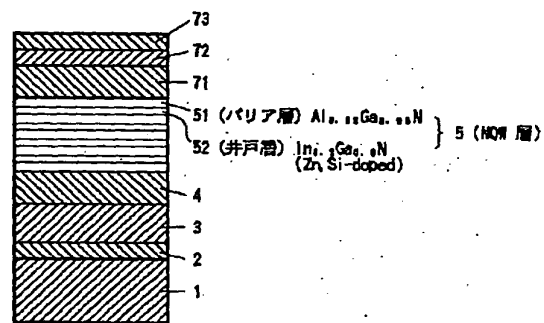
9…透明電極

10…パッド

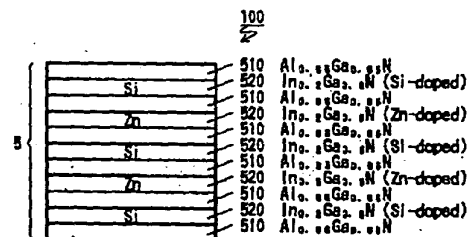
【図1】



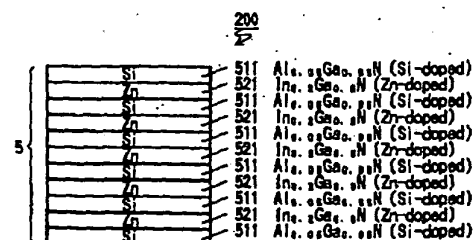
【図2】



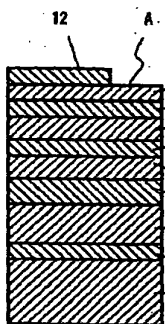
【図6】



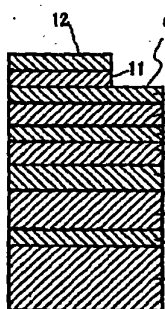
【図7】



【図3】



【図4】



【図5】

